

Szendvicspanel tárcsahatásának elemzése

Stressed skin effect evaluation of sandwich panels

KELEMEN Andrea¹, Dr. NAGY Zsolt², Dr. NEDELUCU Mihai³

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérőki kar, Épületszerkezetek Intézete,
C-tin Daicovicu utca, 15 sz., 400020, Kolozsvár, Románia. Tel: 0264 401250, fax: 0264 594967, ¹
andrea.dezo@mecon.utcluj.ro, ² zsolt.nagy@dst.utcluj.ro, ³ mihai.nedelcu@mecon.utcluj.ro

Abstract

The stressed skin effect of the sandwich panel cladding is evaluated in terms of sway displacement on the frame structure with semi-rigid joints. The procedure is based on detailed analytical and numerical calculations, carried out by combining the available design recommendations and the developed analysis procedures using a 3D structural analysis software. The analysis results emphasize significant stabilization effects on the structure, showing similar effect as roof bracings.

Keywords: Stressed skin, sandwich panel, stability, cold-formed steel portal frames

Kivonat

A szendvicspanel burkolat tárcsahatását elemeztük, félmerev csomópontú keretszerkezet elmozdulásait figyelve. Az eljárás analitikus és numerikus számításokon alapszik, amelyekben ötvöztük a rendelkezésre álló analitikus tervezési eljárást és egy 3D strukturális elemző szoftver képességeit. Az elemzés eredményei hangsúlyozták a szerkezetre gyakorolt jelentős stabilizáló hatást, hasonló viselkedést tanúsítva, mint egy szélráccsokkal ellátott szerkezet esetében.

Kulcsszavak: tárcsahatás, szendvics panel, trapézlemez, stabilitás, hidegen hajlított szelvények, keretszerkezet

1. BEVEZETŐ

A szerkezetek burkolat rendszerei által nyújtott tárcsahatásának vizsgálata az 1950-es évek elejére nyúlik vissza. A kutatások során egyértelművé vált, hogy a burkolati rendszer bizonyos esetekben teherátadó, elsődleges szerkezeti elemként működik. 2014-ben megjelent az ECCS ajánlás [1] a szendvics panelek tárcsahatásának analitikus felmérése érdekében, amely nagymértékben az EASIE (Ensuring Advancement in Sandwich Construction through Innovation and Exploitation) [2] nevű európai kutatási projekt eredményeire alapszik. Napjainkban ez a jelenség gyakran figyelmen kívül van hagyva a tervezési folyamatban, ez által csökkentve a számítási időt. A valóságban a burkolati rendszer stabilizálja a szerkezetet, és csökkenti a vízszintes elmozdulásokat. A legtöbb tervező által modellezett szerkezeti konfiguráció csak abban az esetben lenne érvényes, ha a burkolati rendszer megsérült, és már nem képes a terheket továbbítani, ami azt is jelentené, hogy már nem képes ellátni elsődleges szerepét: gátolni a víz beszivárgását.

Előző cikkekben a szerzők a trapézlemez és magasbordás lemez tárcsa hatását vizsgálták 2016-ban [3], a szelemen-gerenda közötti kapcsolat befolyását a tárcsahatásra nézve 2018-ban [4], valamint 2019-ben a szendvicspanelek tárcsahatásának egy elemzési módját mutatták be [5]. A jelenlegi cikk célja az eddigi ismeretek [3-5] felhasználásával egy új eljárás bemutatása, amely integrálja a szendvicspanelek tárcsahatását egy 3D numerikus modellbe.

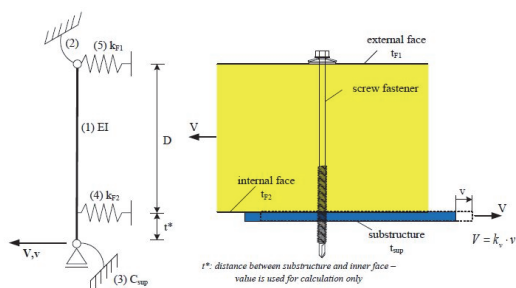
2. JAVASOLT ELJÁRÁS

2.1. Procedúra

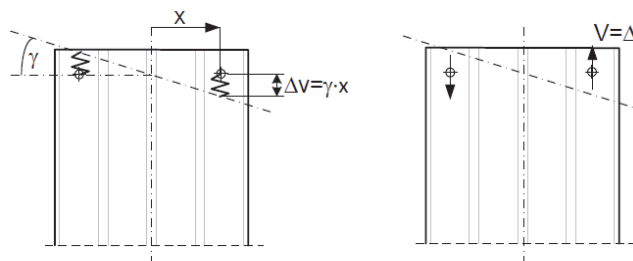
A javasolt integrálási procedúra minden egyes szendvicspanelt különálló merev acéllemeznek tekint, melynek vastagsága megegyezik a szendvicspanel felső és alsó lemezeinek összesített vastagságával. A lemezek és a szelemenek közötti kapcsolati elemek az analitikusan számolt tárcsahatás merevség függvényében kalibrálható. Az analitikus ECCS számítási eljárás [1] teljes mértékben a panelek és a szelemenek közötti

kapcsolat mechanikai modelljére alapszik, amely az 1. ábrában látható. Az átlapolásos rögzítő elemek merevsége el van hanyagolva a számolási eljárásban, feltételezve, hogy a tetődiafragmák globális tárcsahatására nézve a hatásuk jelentéktelen.

A 2. ábrán feltüntetett elvek alapján és a használt rögzítőcsavarok nyíróerő kapacitásától függően meghatározható a diafragma deformációjának maximális γ szöge, amely rugalmas határértéknek tekinthető, a burkolat rendszer károsodásának elkerülése érdekében.



1. ábra. Szendvicspanel és szelemen közötti kapcsolat mechanikai modellje [1]



2. ábra. Elmozdulás és nyíróerő a rögzítő csavarban [2]

A javasolt eljárás lépései:

- 1) A szendvicspanel rögzítőelemének tengelyre merőleges irányú merevségének (k_v) meghatározása az ECCS ajánlásokban megadott tervezési eljárás segítségével [1];
- 2) A szelemenek és szendvicspanel közötti kapcsolatok modellezése, egy kerek acélrúd segítségével. Az acélrúd hossza egyenlő a szelemen középvonala és a szendvicspanel középvonala közötti távolság hosszával. A kalibrálási modell egy merev befogású konzol, amely végére egy egységnyi erő hat, hosszra merőlegesen. A kalibrálás a rúd átmérőjének változtatásával történik, amíg az elem deformációja az egységnyi erő pontjában megegyezik az analitikusan meghatározott rugalmasság értékével ($1/k_v$).
- 3) A 3D modellben a szendvicspanel merev acéllemezek által való modellezése, melyek minden csavar pontban a 2-es lépésben kalibrált kapcsolódó elem használatával a szelemenekhez van rögzítve. Az acéllemez vastagsága megegyezik a szendvicspanel felső és alsó lemezeinek összesített vastagságával, valamint a szélessége megegyezik a lemez szélén helyezkedő csavarok közötti távolsággal. Mivel az acéllemez és a kapcsolódó elem csak a tárcsahatás integrálásához szükséges, ezen elemek önsúlya hanyagolva van az analízis során. A burkolat rendszer önsúlyát ajánlatos a szelemeneken egységesen elosztott teher formájában figyelembe venni.

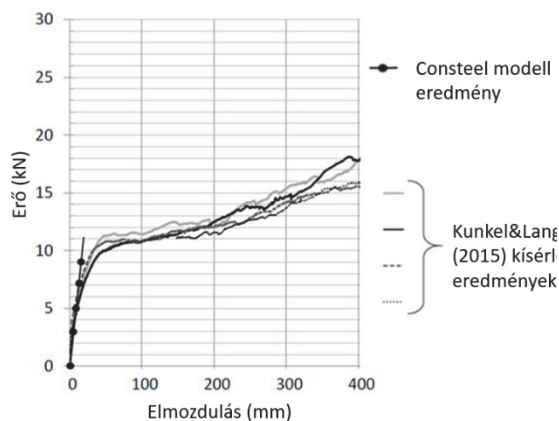
2.2. Procedúra validálása

A javasolt procedúra alkalmazva volt két kísérlet elemzésére, majd összehasonlítottuk a 3D numerikus modell eredményeit a kísérleti teszt során kapott erő-elmozdulás görbékkel.

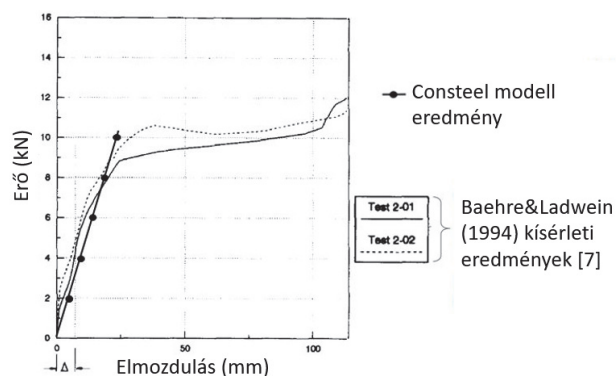
A 3. ábrában a Kunkel&Lange [6] által kivitelezett kísérlet eredményeihez hasonlítottuk az eljárás eredményeit, erő-elmozdulás függvényében. A vizsgált 6m x 6m diafragma 60 mm vastag szendvicspanellel volt leburkolva, 0.4 mm vastagságú külső lemezzel és 0.5 mm vastagságú belső lemezzel. A rögzítő csavar analitikus merevsége (k_v) 2.558 kN/mm volt, amely egy 50 mm hosszú és 10.012 mm átmérőjű acélrúd segítségével tudtunk modellezni.

A 4. ábrában a Baehre&Ladwein [7] által elemzett kísérlet eredményeihez hasonlítottuk az eljárás eredményeit, erő-elmozdulás függvényében. A vizsgált diafragma 3m x 6m méretű volt, 60 mm vastag szendvicspanelnekkel, 0.67 mm vastagságú belső lemezzel. A rögzítő csavar analitikus merevsége (k_v) 2.46 kN/mm volt, amely egy 40 mm hosszú és 8.615 mm átmérőjű acélrúd segítségével tudtunk modellezni.

Mindkét kísérlet esetében, a javasolt eljárás megfelelő az elasztikus viselkedés modellezésére.



3. ábra. A javasolt eljárás eredményei és Kunkel&Lang [6] által végzett kísérlet eredményei összehasonlítása



4. ábra. A javasolt eljárás eredményei és Baehre&Ladwein [7] által végzett kísérlet eredményei összehasonlítása

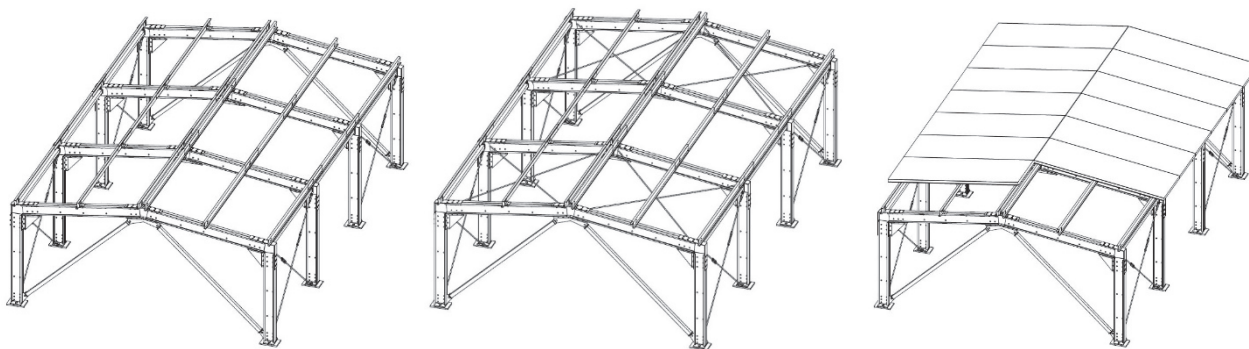
3. ESETTANULMÁNY

3.1. Szerkezet konfiguráció

Az esettanulmányhoz egy 6m x 9m csarnok szerkezetet használtunk, 3 méteres keret közökkel. Az oszlopok és gerendák 2 x C250/3 szelvényekből, valamint a távtartók és merev szélrácsok SHS80 x 40 szelvényből voltak kialakítva. A gerinc csomópont merevsége 2948 kN m/rad és az eresz csomópont merevsége 2062 kN m/rad értékre volt becsülve (előző kísérletek alapján). A Z150/2 szelemenek UPN65 szelvények által voltak a gerendákhoz rögzítve.

Három különböző szerkezeti konfigurációt elemeztünk:

- Sima szerkezet: tető szélrácsok és szendvicspanel burkolat nélkül (5. ábra – bal oldalt);
- Szerkezet tető szél rácsokkal: Ø20 szélrácsok (5. ábra – közép);
- Szerkezet szendvicspanel tető burkolattal: 60 mm vastag TeraSteel ISOAC5MW szendvicspanelek, EJOT JT3 D6H 5.5/6.3 csavarokkal rögzítve a szelemenekhez (5. ábra – jobb oldalt);



5. ábra. Az esettanulmányban feltételezett szerkezeti konfigurációk

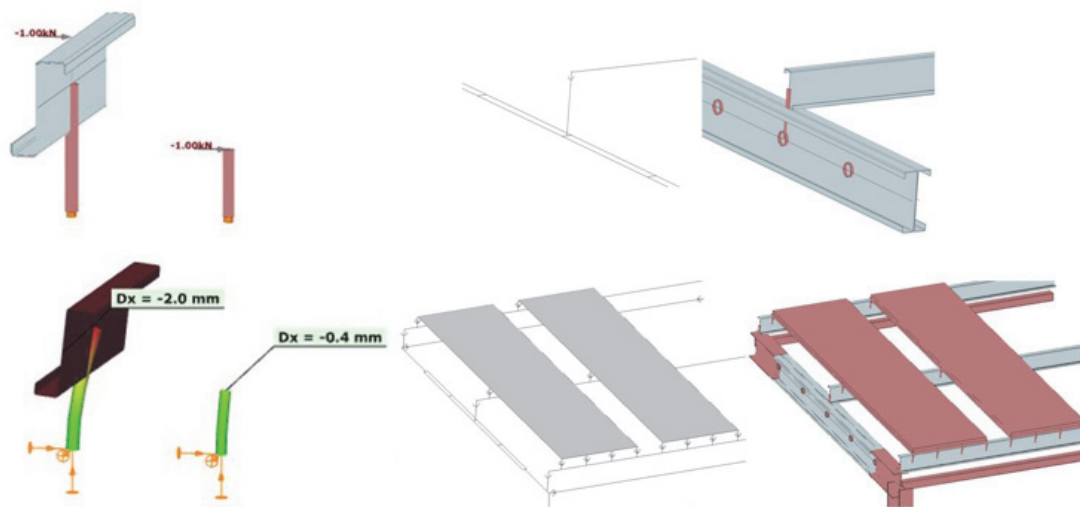
3.2. Csomópontok kalibrálása és modellezési részletek

A szelemenek gerendákhoz való rögzítése hasonló módon volt kalibrálva, mint a szendvicspanel és szelemenek közötti kapcsolat (6. ábra – bal oldalt). A kapcsolatnak 2.027mm/kN rugalmassága volt, amelyet egy 200 mm hosszú és 20.937 mm átmérőjű acélrudat által tudtuk reprodukálni. Az egységnyi erő a szelemen felső övére hatott.

A szendvicspanelt rögzítő csavarok tengelyre merőleges irányú merevségének (k_v) analitikus értéke 2.688 kN/mm. A kalibrálási folyamat egy 105 mm hosszú és 17.68 mm átmérőjű acélrudat eredményezett.

A 6. ábra jobb oldalán látható pár jellegzetes modellezési részlet. A szerkezeti modellekben az oszlopok és gerendák két különálló C250/3 szelvényből voltak modellezve, amelyek a felételezett csavarozási pontokban fiktív cső rudakkal voltak összekötve. A szélrácsok és távtartók yy és zz irányban csuklósak voltak. A

szelemenek kapcsolati elemei mereven voltak rögzítve a gerendához, míg a szelemenhez való rögzítési pontban zz irányú csukló volt meghatározva. A szendvicspanel kapcsolati elemei pedig yy és zz irányban voltak csuklósak. A numerikus modellekben minden esetben figyelembe voltak véve a vertikális külpontosságok.



6. ábra. Csomópont kalibrálás (bal oldalt) és modellezési részletek (jobb oldalt)

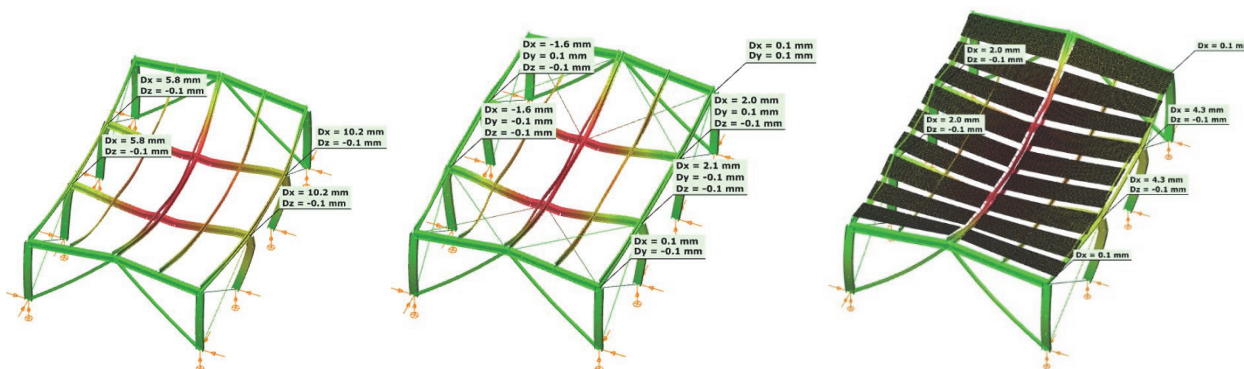
Az egyszerűség kedvéért csak egy kritikus terhelési kombinációt hoztunk létre és használtunk az összehasonlításra: 1.35 önsúly + 1.05 hőterher + 1.5 szélterher. Az alábbi terhelések voltak feltételezve:

- Burkolat rendszer önsúlya: 0.25 kN/m²;
- Karakterisztikus hőteher: 1.5 kN/m²;
- Szélnyomás: 0.4 kN/m²;

3.3. Eredmények

A 7. ábrán látható a három szerkezeti konfiguráció deformált alakja a felételezett terhelési kombináció hatása alatt, valamint az 1. táblázat összesíti a maximum oldal irányú elmozdulásokat.

A szendvicspanelek és szelemenek között használt csavarok nyíróerő kapacitása 1.18 kN erőre volt értékelve. A 2. ábrán feltüntetett eljárás alapján meghatározott diafragma maximális deformációs γ szöge 0.00117 rad, amely egy 3.5 mm maximális keret elmozdulásnak felel meg. Ezt az értéket összehasonlítva a 3D szendvicspaneles szerkezet maximális elmozdulásával (4.3 mm), feltételezhető, hogy a 3.5 mm elmozdulási limit meghaladása után, a burkolati rendszer károsodik és a szerkezetre való hatása már nem tekinthető lineárisnak.



7. ábra. A szerkezeti konfigurációk deformációi az 1-es teher kombináció alatt

Szerkezeti konfiguráció	Maximum oldal irányú elmozdulás [mm]
Sima szerkezet	10.2 mm
Szerkezet tető szél rácsokkal	2.1 mm
Szerkezet szendvicspanel tető burkolattal	4.3 mm

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott eljárás használatával modellezhető a burkolat szerkezetre kifejtett hatása. Az alkalmazott modell segítségével elfogadható eredményeket érünk el, ameddig a burkolat hatása a szerkezetre elasztikusnak ítéelhető.

Az esettanulmány kimutatta, hogy a burkolat rendszer hasonló módon működik, mint a tető szélrács rendszer, jelentősen csökkentve a szerkezet oldal irányú elmozdulásait. Kimagasló figyelmet kell fordítani a szendvicspanel diafragma elasztikus határ elmozdulásának a meghatározására. Az említett határ meghaladása következtében, nagy valószínűséggel, a szendvicspanelek kapcsolatai rongálódnak és a belső acéllemez csavar körüli lyukak megnyúlnak. Ennek következtében, a szendvicspanel diafragma merevsége csökken. A szerkezetre kifejtett hatás pontosabb modellezése érdekében bi-lineáris anyagmodell ajánlott.

Köszönetnyilvánítás

A jelen cikkben dokumentált kutatói munka a magyarországi Collegium Talentum programja támogatásával készült.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] ECCS Technical Working Group TWG 7.9 & CIB Working Commission W056. *European Recommendations on the Stabilization of Steel Structures by Sandwich Panels*. International Council for Research and Innovation in Building and Construction & European Convention for Constructional Steelwork, 2014.
- [2] Käpplein S., Misiak T. *EASIE project - Report no. D3.3 – part 2: In-plane shear resistance of sandwich Panels*. Karlsruhe: Ensuring Advancement in Sandwich Construction Through Innovation and Exploitation, 2011.
- [3] Nagy Zs., Pop A., Moiş I., Ballok R. *Stressed Skin Effect on the Elastic Buckling of Pitched Roof Portal Frames*. Structures, 2016, 8, 227-244.
- [4] Nagy Zs., Moiş I., Pop A., Dező A. *The influence of purlin-to-beam connection stiffness in stress skin action on portal frames*. ICTWS 2018; Lisbon, Portugal, 24 – 27 July 2018.
- [5] Nagy Zs., Nedelcu M., Dező A. *Stabilization effect on portal frames given by stressed skin action of sandwich panels*. Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications: Proceedings of the 7th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2019), Taylor & Francis Group, 2019, 854-859.
- [6] Kunkel C., Lange J. *Experimental analysis on the bearing capacity of sandwich panel joints*. 20th International Conference on Composite Materials; Copenhagen, Denmark, 19 – 24 July 2015.
- [7] Baehre R., Ladwein T. *Diaphragm action of sandwich panels*. Journal of Constructional Steel Research, 1994, 31, 305-316.